昆 虫 学 报 Acta Entomologica Sinica，June 2006，49(3)：404－409 ISSN 0454-6296

砂地柏提取物、鬼臼毒素和脱氧鬼臼毒素对粘虫幼虫生长发育和食物利用的影响

李广泽[1]，马志卿[1*]，冯俊涛[1,2]，冯　岗[1]，张　兴[1,2]
（1. 西北农林科技大学无公害农药研究服务中心，陕西杨凌　712100；
2. 陕西省生物农药工程技术研究中心，陕西杨凌　712100）

摘要：采用重量法研究了砂地柏 *Sabina vulgaris* Ant. 果实乙醇提取物、鬼臼毒素和脱氧鬼臼毒素等 3 种植物源拒食性物质在 AFC_{30}、AFC_{50} 及 AFC_{80} 剂量处理下对粘虫 *Mythimna separata* 幼虫生长发育和食物利用的影响。结果表明，3 种供试物质对粘虫幼虫正常的生长发育历期具有明显的延缓作用，可显著延长试虫龄期。2 种鬼臼类物质在处理期内均可造成粘虫幼虫相对生长率和相对代谢率的明显降低，并且表现出与剂量的相关性，但停止处理 3～5 天后，又都能恢复到正常水平；3 种物质对粘虫幼虫食物近似消化率没有明显影响。处理期内食物转化率和利用率显著增加，停止处理后，均可恢复到正常水平；不同物质处理间存在一定差异，同一物质不同处理剂量间差异不明显。

关键词：砂地柏；鬼臼毒素；脱氧鬼臼毒素；粘虫；生长发育；食物利用
中图分类号：Q965.9；S482.39　　文献标识码：A　　文章编号：0454-6296(2006)03-0404-06

Effects of extracts from *Sabina vulgaris* Ant., podophyllotoxin and deoxypodophyllotoxin on growth and food utilization of *Mythimna separata* larvae

LI Guang-Ze[1], MA Zhi-Qing[1*], FENG Jun-Tao[1,2], FENG Gang[1], ZHANG Xing[1,2] (1. Biorational Pesticide Research and Development Center, Northwest Sci-Tech University of Agriculture and Forestry, Yangling, Shaanxi 712100, China; 2. Shaanxi Research Center of Biopesticide Engineering and Technology, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract: We assessed the effects of the extracts from *Sabina vulgaris* Ant., and two podophyllotoxin analogues, *i.e.*, podophyllotoxin and deoxypodophyllotoxin, which are main insecticidal secondary components of *S. vulgaris*, on growth and food utilization of *Mythimna separata* larvae with weight method under treatment with three doses of AFC_{30}, AFC_{50} and AFC_{80}. The results showed that the tested chemicals had obvious inhibiting activity on growth and development of *M. separata* larvae, and the larval stage was significantly longer when controlled with the three chemicals under above doses. During treated periods, the related growth rate (RGR) and related metabolizing rate (RMR) were significantly lower when controlled with the two podophyllotoxin analogues, and the higher the dose, the lower the rates. But in 3－5 days post treatment, these two rates recovered to common levels. The three chemicals had no obvious effects on larval approximate digestibility (AD). During the controlled period, the efficiency of conversion of digested food (ECD) and efficiency of conversion of ingested food (ECI) significantly increased. In 3－5 days post treatment, these two rates also recovered to common levels. There was a certain extent difference of ECI and ECD among controlled chemicals, but no obvious difference among doses.

Key words: *Sabina vulgaris*; podophyllotoxin; deoxypodophyllotoxin; *Mythimna separata*; growth and development; food utilization

---

基金项目：国家自然科学基金项目(30471156)；国家'863'计划项目(2001AA246016)
作者简介：李广泽，男，1977 年生，甘肃宁县人，博士研究生，主要从事天然产物农药与化学生态学领域的研究和教学工作，E-mail：liguangze@126.com
* 通讯作者 Author for correspondence, E-mail：maer63@sina.com
收稿日期 Received：2005-06-10；接受日期 Accepted：2005-11-10

许多植物次生代谢物对昆虫表现出毒杀、拒食、忌避、驱避、拒产卵及生长发育抑制等生物活性，已成为新一代害虫控制剂研究与开发的重要资源。鬼臼毒素和脱氧鬼臼毒素是从砂地柏 *Sabina vulgaris* Ant. 中分离得到的 2 个木脂素类化合物，对粘虫 *Mythimna separata* 幼虫具有较强的拒食和抑制生长发育作用，对菜青虫 *Pieris rapae* 具有较强的拒食、胃毒和抑制生长发育作用（高蓉等，2001；张兴等，2002）。胃毒杀虫作用机理初步研究表明脱氧鬼臼毒素对昆虫中肠组织及多种代谢酶系均具毒性，推测可能为一种消化毒剂（张兴等，2002）。Inamori 等（1983，1984，1986）研究发现，脱氧鬼臼毒素并不能造成家蚕 *Bombyx mori* 幼虫中肠和马氏管明显的组织病变，并推测表皮细胞可能是其作用靶标之一。这可能是由于不同的研究选用虫种及处理剂量的不同而得出的不同结论。

采用昆虫营养学研究的方法可宏观地探明次生物质对昆虫生长发育和食物利用的影响，如有人研究了 Bt 及其 δ-内毒素对昆虫利用食物的影响（Deml *et al*., 1999；Bauce *et al*., 2002）。本研究系统测定了 3 种砂地柏提制品在不同的拒食剂量下处理粘虫幼虫，处理前后粘虫幼虫生长发育和食物利用指标的变化，为进一步阐明其处理剂量、作用方式和作用机理之间的关系提供了依据。

1　材料与方法

1.1　试虫和供试物质

粘虫由西北农林科技大学无公害农药研究服务中心养虫室提供，实验时挑取生长发育状态一致的健康 3 龄初期幼虫供试。

砂地柏果实乙醇粗提物浸膏、鬼臼毒素（纯度 95%）及脱氧鬼臼毒素（纯度 90%）由本实验室自制，兰州大学化学化工学院田暄教授协助进行化合物结构鉴定和纯度分析。

1.2　方法

1.2.1　拒食活性测定：采用小叶碟添加法（张兴和赵善欢，1983）测试供试物质对粘虫的 48 h 拒食活性。具体方法为：将 10 头试虫置于 9.0 cm 培养皿中，每皿为 1 重复，每处理重复 3 次。将待测样品用丙酮稀释成 6～8 个质量浓度梯度的溶液，将玉米叶片剪成 1.0 cm×1.0 cm 大小的叶碟，于药液中浸渍 2～3 s 后取出，自然晾干后饲喂试虫，以丙酮处理为对照。48 h 后用坐标纸法测量取食叶面积，计算校正拒食率。采用 Visual Basic 6.0 程序求出拒食毒力曲线（冯岗，2005）。

1.2.2　试虫饲养：每培养皿放置 10 头试虫，皿底垫放滤纸。置入养虫室（25±2℃，相对湿度 65%～80%，光周期 12L∶12D）。田间采回相同叶位玉米叶，去其叶脉及两端，将余下部分剪成大小一致的叶碟饲喂试虫。

1.2.3　营养指标实验处理及数据统计分析方法：供试物质用丙酮稀释成所需浓度（3 种供试物质之 AFC_{30}、AFC_{50} 和 AFC_{80} 剂量），将剪好的叶碟在其中浸泡约 3 s，取出后自然晾干用以饲喂处理组试虫。

采用重量（鲜重）法（陈志辉，1987；罗礼智等，1995）研究供试物质对粘虫食物利用的影响。拒食浓度设 3 个处理剂量：AFC_{30}、AFC_{50} 和 AFC_{80}。第 1、2 天以处理叶片饲喂，以丙酮处理为对照。第 3 天后换用正常叶片饲喂。每处理设 3 个重复，每重复 10 头试虫。每 24 h 统计试虫龄期，精确称量试虫取食量、体重增加量及排粪量。因以鲜重计算，实验观测期间玉米叶碟会因含水量改变而发生重量变化，因此，本实验设不做任何处理的玉米叶片饲喂作空白对照组用于对取食量进行校正。饲养、观察、测定 8 天，直到对照组试虫 90% 进入 5 龄后停止实验。

根据上述观测结果参照陈志辉（1987）方法，计算校正取食量、蜕皮率、相对生长速率、相对代谢速率、近似消化率、食物利用率和转化率等生理指标。

2　结果与分析

2.1　3 种物质对粘虫幼虫的拒食活性

3 种供试物质对粘虫幼虫 48 h 的拒食活性见表 1。鬼臼毒素和脱氧鬼臼毒素 48 h 的 AFC_{50} 相近，但脱氧鬼臼毒素的回归方程 b 值大于鬼臼毒素的，说明其拒食活性随剂量的敏感性高于鬼臼毒素；砂地柏果实乙醇抽提物活性最低。

2.2　3 种物质对粘虫幼虫生长发育的影响

2.2.1　对粘虫幼虫龄期的影响：统计和分析实验第 3、4、6 和 8 天试虫的蜕皮情况（表 2）。从对照组试虫来看，在实验条件下，第 4 天 92.9% 试虫进入 4 龄期，第 8 天 92.0% 的试虫进入 5 龄期。3 种物质处理均显著延长了粘虫幼虫龄期，实验第 6 天大部分处理组试虫才有大约 90% 的试虫进入 4 龄期，与对照相比延后了大约 2 天。到第 8 天时，鬼臼毒素、砂地柏粗提物处理组试虫有 50%～70% 进入 5 龄期，而这 2 种物质的 AFC_{80} 剂量处理和脱氧鬼臼毒素

3 个剂量处理大部分试虫仍停留在 4 龄期。处理剂量与试虫蜕皮率呈明显的正相关,处理剂量越大,龄期越长。3 种物质中,脱氧鬼臼毒素对粘虫蜕皮的影响显著大于其余 2 种物质。

表 1 3 种物质对粘虫幼虫 48 h 拒食活性

Table 1 Antifeedant activity of three chemicals on *Mythimna separata* larvae treated for 48 h

供试物质 Test substance	拒食毒力回归方程 $y = a + bx$	拒食中浓度 AFC_{50} (95%置信限 95% CL)(mg/mL)	相关系数 r
鬼臼毒素 Podophyllotoxin	$5.21 + 0.97x$	0.61 (0.36 ~ 1.05)	0.9883
脱氧鬼臼毒素 Deoxypodophyllotoxin	$5.32 + 1.51x$	0.62 (0.42 ~ 0.91)	0.9701
砂地柏果实乙醇抽提物 Substance extracted from fruit of *Sabina vulgaris* with ethanol	$4.41 + 1.49x$	2.49 (1.17 ~ 5.30)	0.9791

注:$\chi^2_{0.05,3} = 7.81$。若所测方程 χ^2 小于该值则方程符合实际,否则不符合。

Note: Equation fit the fact unless the "χ^2" is less than 7.81.

表 2 3 种物质在不同剂量下对粘虫幼虫蜕皮的影响

Table 2 Moulting rate of *Mythimna separata* larvae controlled with three chemicals under different doses

供试物质 Test substance	剂量* Dose* (mg/mL)	各龄期试虫占总虫数的比例 Each instar proportion of total tested larvae (%)					
		第 3 天 3rd day	第 4 天 4th day	第 6 天 6th day		第 8 天 8th day	
		4 龄 4th instar	4 龄 4th instar	4 龄 4th instar	5 龄 5th instar	4 龄 4th instar	5 龄 5th instar
鬼臼毒素	0.2	69.23 ± 8.71 a	87.50 ± 1.59 ab	76.19 ± 5.00 ab	19.05 ± 5.85 bc	40.00 ± 5.50 cd	60.00 ± 5.50 abc
Podophyllotoxin	0.6	40.74 ± 2.57 bc	84.00 ± 7.65 abc	91.67 ± 6.85 a	8.33 ± 6.85 cde	60.87 ± 5.61 abc	39.13 ± 5.61 cde
	4.5	26.09 ± 5.41 cd	73.91 ± 1.69 abc	90.91 ± 7.78 a	4.55 ± 8.25 de	74.36 ± 2.06 ab	25.64 ± 2.06 de
脱氧鬼臼毒素	0.3	34.48 ± 5.09 bcd	70.37 ± 9.14 bc	92.00 ± 6.51 a	4.00 ± 6.42 de	66.67 ± 4.47 abc	29.17 ± 4.18 cde
Deoxypodophyllotoxin	0.6	22.22 ± 6.11 d	65.38 ± 8.68 c	87.50 ± 4.66 a	0.00 ± 0.00 e	61.90 ± 17.74 abc	38.10 ± 17.74 cde
	2.5	0.00 ± 0.00 e	25.00 ± 6.12 d	83.33 ± 4.50 ab	0.00 ± 0.00 e	82.35 ± 16.67 a	11.76 ± 19.25 e
砂地柏果实乙醇抽提物	1.0	75.00 ± 6.74 a	90.91 ± 7.50 a	65.00 ± 6.23 b	30.00 ± 7.33 b	25.00 ± 4.31 de	75.00 ± 4.31 ab
Substance extracted from fruit of	2.5	47.62 ± 4.12 b	89.47 ± 9.29 a	80.00 ± 7.65 ab	5.00 ± 1.33 bcd	43.75 ± 13.88 bcd	56.25 ± 13.88 bcd
Sabina vulgaris with ethanol	12.5	20.83 ± 5.56 d	66.67 ± 8.94 c	91.67 ± 7.22 a	4.17 ± 1.58 cd	87.50 ± 11.26 a	12.50 ± 11.26 e
对照 CK		79.31 ± 9.45 a	92.86 ± 6.12 a	39.29 ± 5.59 c	60.71 ± 5.59 a	8.00 ± 6.61 e	92.00 ± 6.61 a

* 表中剂量从小到大依次为 AFC_{30},AFC_{50}和 AFC_{80},分别根据表 1 计算得出。表中数据为 3 次重复的平均值 ± *SE*;同一列数据后标相同小写字母者表示经 Duncan 氏新复极差测验,同列数据在 $P_{0.05}$水平上差异不显著;同一行数据后标相同大写字母者,表示同行数据在 $P_{0.01}$水平上差异不显著。下表同。

* The doses are given as AFC_{30}, AFC_{50} and AFC_{80}, which were calculated from Table 1, respectively. The data are given as mean ± *SE* from 3 duplications. Data within a column with the same small letters are not significantly different at $P_{0.05}$ by Duncan's multiple range test, and data within a row with the same capital letters are not significantly different at $P_{0.01}$ by Duncan's multiple range test, respectively. The same below.

2.2.2 对粘虫幼虫相对生长率的影响

3 种物质在不同剂量下对粘虫幼虫相对生长率的影响见表 3。从表 3 可以看出,在处理期内,2 种鬼臼类物质 AFC_{80}剂量下显著降低了粘虫幼虫的相对生长率,但在 AFC_{30}剂量下差异并不明显,明显表现出与剂量的相关性,即随着处理剂量的增加,相对生长率降低

表 3 3 种物质在不同剂量下对粘虫幼虫相对生长率的影响

Table 3 Related growth rate of *Mythimna separata* larvae controlled with three chemicals under different doses

供试物质 Test substance	剂量 Dose (mg/mL)	处理期(d) Treatment period	正常饲喂期(d) Post-treatment period	
		1 – 2	3 – 4	5 – 8
鬼臼毒素	0.2	66.24 ± 0.96 aA	66.27 ± 3.91 aA	43.83 ± 0.45 abB
Podophyllotoxin	0.6	55.85 ± 7.84 bA	53.21 ± 2.53 bA	43.93 ± 1.99 abA
	4.5	41.65 ± 6.58 dB	68.65 ± 8.52 aA	45.59 ± 1.18 aB
脱氧鬼臼毒素	0.3	54.31 ± 5.37 bAB	67.15 ± 3.64 aA	43.44 ± 1.28 bB
Deoxypodophyllotoxin	0.6	45.81 ± 6.83 cdA	60.57 ± 7.33 abA	45.48 ± 1.20 aA
	2.5	40.47 ± 1.41 dB	60.40 ± 8.37 abA	45.41 ± 0.56 aAB
砂地柏果实乙醇抽提物	1.0	68.00 ± 2.76 aA	69.77 ± 5.09 aA	44.24 ± 0.59 abB
Substance extracted from fruit of	2.5	56.21 ± 2.80 bB	69.80 ± 3.39 aA	44.56 ± 0.79 abC
Sabina vulgaris with ethanol	12.5	51.54 ± 5.17 bcAB	64.47 ± 4.58 a A	44.36 ± 0.46 abB
对照 CK	–	57.55 ± 1.67 bA	54.37 ± 1.74 bA	43.94 ± 0.60 abB

越明显；砂地柏粗提物在所有供试剂量下对粘虫相对生长率与对照相比均无抑制作用；在停止处理后1～2天，所有处理组试虫相对生长率与对照相比略有增大，处理间和不同剂量间差异不明显；停止处理后3～5天，所有处理组试虫相对生长率均恢复到与对照相当的水平。

2.2.3　对粘虫幼虫相对代谢率的影响：3种物质在不同剂量下对粘虫幼虫相对代谢率的影响见表4。从表4可以看出：3种物质对粘虫幼虫相对代谢率有明显影响；在处理期内，3种物质不同剂量处理均显著降低了试虫相对代谢率，除脱氧鬼臼毒素外，其余2种物质的处理剂量越大，对试虫相对代谢率影响也就越大；在停止处理后1～2天，处理组试虫相对代谢率均有相对程度的恢复，其中2种鬼臼毒素处理组试虫可恢复到与对照组相当、甚至略高的水平，而砂地柏粗提物处理组试虫相对代谢率仍显著低于对照组试虫；停止处理后3～5天，除2种鬼臼毒素 AFC_{80} 剂量处理外，大部分处理组试虫相对代谢率恢复到与对照相当的水平。

表4　3种物质在不同剂量下对粘虫幼虫相对代谢率的影响

Table 4　Related metabolizing rate of *Mythimna separata* larvae controlled with three chemicals under different doses

供试物质 Test substance	剂量 Dose (mg/mL)	处理期(d) Treatment period	正常饲喂期(d) Post-treatment period	
		1－2	3－4	5－8
鬼臼毒素 Podophyllotoxin	0.2	6.10±0.62 cA	5.81±1.34 bA	1.93±0.25 dB
	0.6	4.21±0.54 dB	9.20±0.31 aA	3.88±0.45 aB
	4.5	3.19±0.18 eA	3.42±0.47 cdA	3.50±0.25 bA
脱氧鬼臼毒素 Deoxypodophyllotoxin	0.3	2.75±0.18 eB	5.72±1.14 bA	2.43±0.41 cB
	0.6	3.16±0.33 eB	8.35±1.54 aA	2.68±0.65 cB
	2.5	4.36±0.35 dB	6.26±0.45 bA	1.29±0.40 eC
砂地柏果实乙醇抽提物 Substance extracted from fruit of *Sabina vulgaris* with ethanol	1.0	8.14±0.88 bA	2.17±0.11 dB	1.82±0.24 dB
	2.5	6.11±0.69 cA	2.45±0.63 cdB	2.71±0.88 cB
	12.5	4.93±0.18 dA	3.78±0.73 cAB	2.54±0.30 cB
对照 CK		11.71±1.35 aA	6.60±0.26 bB	2.47±0.52 cC

2.3　3种物质对粘虫食物近似消化率的影响

粘虫幼虫在3种物质不同剂量处理下的近似消化率见表5。从表5可以看出，处理期内，处理组试虫近似消化率与对照相比差异不明显；正常饲喂期内，处理组试虫近似消化率略高或相当于对照组试虫；从总的表现来看，3种物质对粘虫幼虫近似消化率没有明显影响。

表5　3种物质在不同剂量下对粘虫幼虫近似消化率的影响

Table 5　Approximate digestibility of *Mythimna separata* larvae controlled with three chemicals under different doses

供试物质 Test substance	剂量 Dose (mg/mL)	处理期(d) Treatment period	正常饲喂期(d) Post-treatment period	
		1－2	3－4	5－8
鬼臼毒素 Podophyllotoxin	0.2	70.08±3.74 aB	79.21±4.58 abA	46.97±2.70 cdC
	0.6	65.26±5.93 aA	76.23±4.20 abA	67.59±2.06 aA
	4.5	57.15±3.52 aA	80.19±5.99 abA	57.56±6.81 bA
脱氧鬼臼毒素 Deoxypodophyllotoxin	0.3	68.31±3.18 aA	83.25±4.66 aA	39.02±7.83 deB
	0.6	63.27±4.41 aB	85.93±3.88 aA	47.84±3.45 bcdeB
	2.5	69.56±3.13 aA	73.20±2.41 abA	36.50±8.12 eB
砂地柏果实乙醇抽提物 Substance extracted from fruit of *Sabina vulgaris* with ethanol	1.0	68.81±4.61 aA	47.17±3.83 dB	53.71±3.52 bcB
	2.5	65.66±3.74 aA	54.56±4.42 cdA	42.10±3.79 deA
	12.5	67.17±2.68 aA	64.30±4.93 bcA	44.94±1.84 cdefA
对照 CK		71.95±3.79 aA	56.28±4.89 dB	40.25±3.39 deC

2.4　3种物质对粘虫食物转化率的影响

粘虫幼虫在3种物质不同剂量处理下的食物转化率见表6。从总的趋势来看，3种物质处理均使粘虫幼虫的食物转化率显著增加，到停止处理后正常饲喂3～5天后，恢复到正常水平；而且处理剂量与食物转化率之间没有明显的相关性。停止处理后1～2天，砂地柏粗提物处理组试虫食物转化率仍维持相当高的水平，显著高于2种鬼臼毒素处理。

表 6 3 种物质在不同剂量下对粘虫幼虫食物转化率的影响

Table 6 Efficiency of conversion of digested food of *Mythimna separata* larvae controlled with three chemicals under different doses

供试物质 Test substance	剂量 Dose (mg/mL)	处理期(d) Treatment period	正常饲喂期(d) Post-treatment period	
		1 – 2	3 – 4	5 – 8
鬼臼毒素 Podophyllotoxin	0.2	9.84 ± 0.80 bcB	10.63 ± 2.97 bcB	40.25 ± 3.32 bcA
	0.6	10.52 ± 2.86 bcB	15.38 ± 2.96 bAB	28.07 ± 1.56 cA
	4.5	9.54 ± 2.31 bcB	11.84 ± 3.25 bcAB	16.12 ± 0.26 dA
脱氧鬼臼毒素 Deoxypodophyllotoxin	0.3	16.24 ± 0.40 aB	10.73 ± 1.92 bcB	33.56 ± 2.82 bcA
	0.6	10.64 ± 2.16 cdB	11.35 ± 2.32 bcB	31.13 ± 1.87 bcA
	2.5	8.43 ± 0.44 bcB	9.13 ± 1.61 bcB	53.65 ± 3.07 aA
砂地柏果实乙醇抽提物 Substance extracted from fruit of *Sabina vulgaris* with ethanol	1.0	14.02 ± 2.75 abB	25.60 ± 2.41 aAB	31.31 ± 1.72 bcA
	2.5	11.23 ± 2.00 bcB	22.79 ± 3.11 aB	42.63 ± 1.94 abA
	12.5	9.91 ± 0.02 bcB	15.44 ± 2.28 bB	29.53 ± 2.12 cA
对照 CK		4.72 ± 0.46 dB	7.61 ± 0.25 cB	32.36 ± 1.78 bcA

2.5 3 种物质对粘虫食物利用率的影响

粘虫幼虫在 3 种物质不同剂量处理下的食物转化率见表 7。比较表 6 与表 7 的结果可以看出,3 种物质对粘虫幼虫食物利用率和对转化率的影响所表现出的特点和趋势类似:均使粘虫幼虫的食物利用率显著增加;到停止处理后可恢复到正常水平;处理剂量与食物转化率之间没有明显的相关性;处理间存在一定差异。

表 7 3 种物质在不同剂量下对粘虫幼虫食物利用率的影响

Table 7 Efficiency of conversion of ingested food of *Mythimna separata* larvae controlled with three chemicals under different doses

供试物质 Test substance	剂量 Dose (mg/mL)	处理期(d) Treatment period	正常饲喂期(d) Post-treatment period	
		1 – 2	3 – 4	5 – 8
鬼臼毒素 Podophyllotoxin	0.2	6.88 ± 0.23 aB	14.03 ± 2.33 bcA	18.95 ± 2.80 abA
	0.6	6.76 ± 1.81 abB	6.81 ± 0.90 dB	17.15 ± 2.06 bA
	4.5	8.77 ± 1.36 aA	8.71 ± 0.38 cdA	9.47 ± 1.21 cA
脱氧鬼臼毒素 Deoxypodophyllotoxin	0.3	8.78 ± 1.56 aB	11.62 ± 1.80 cdA	12.85 ± 0.88 bcA
	0.6	6.59 ± 0.40 abB	12.18 ± 3.37 cA	13.63 ± 2.63 bcA
	2.5	5.88 ± 0.57 abB	22.64 ± 4.79 aA	19.12 ± 1.76 abA
砂地柏果实乙醇抽提物 Substance extracted from fruit of *Sabina vulgaris* with ethanol	1.0	9.17 ± 1.58 aB	19.98 ± 7.38 abA	16.65 ± 1.11 bA
	2.5	6.14 ± 1.84 abB	10.20 ± 2.96 cdB	24.36 ± 2.90 aA
	12.5	6.11 ± 0.09 abB	11.91 ± 1.16 cdA	13.27 ± 1.99 bcA
对照 CK		3.39 ± 0.30 bB	11.70 ± 1.73 cdA	12.92 ± 2.27 bcA

3 讨论

3.1 3 种物质造成粘虫幼虫生长发育延缓可能是拒食作用的影响

从实验结果来看,3 种砂地柏活性物质在处理期内均可造成粘虫幼虫相对生长率和相对代谢率的明显降低,但停止处理 3 ~ 5 天后,又都能恢复到正常水平,说明在拒食剂量下这 3 类物质并没有造成试虫不可逆或破坏性的损伤。3 种物质对粘虫幼虫蜕皮率的影响尤为显著,这可能是由于对相对生长率和相对代谢率的影响,使试虫无法在正常的时间内达到蜕皮所需的营养状态而造成的。

3.2 3 种物质在拒食剂量下对粘虫幼虫的消化系统无明显影响

概括总结食物近似消化率、转化率和利用率的测定结果,可以得出:3 种物质处理期内粘虫幼虫食物近似消化率没有明显变化,但食物转化率和利用率显著增加;停止处理后,均可恢复到正常水平;不同物质处理间存在一定程度差异,处理剂量间差异不明显。结合这 3 个营养指标的生理意义,根据上述结果不难推理出:3 种物质在拒食剂量下对消化系统无明显影响。

3.3 需进一步研究鬼臼类物质杀虫剂量、作用方式和作用机理之间的关系

前期研究表明,砂地柏杀虫活性物质所引致试虫的中毒症状较为复杂,活性成分不同,摄入量不同,试虫不同,所表现的症状和中毒反应过程均有所差异。如摄食脱氧鬼臼毒素的量不同,菜青虫的中毒症状不同。一次性摄入量较大时,试虫上吐下泻,虫体干缩僵直;摄入量较小时则虫体瘫软,最后腐烂死亡;摄入量很少时,试虫于幼虫阶段基本表现正常,只是在

蛹期或预蛹期呈畸形，或羽化成畸形成虫（余向阳，1997）。作用方式研究表明，脱氧鬼臼毒素和鬼臼毒素对菜青虫基本上没有触杀作用，有一定的生长发育抑制作用，但有较强的胃毒和拒食作用；对小菜蛾具有一定的拒食和毒杀活性；对粘虫表现出较强的拒食活性和一定的生长发育及胃毒作用（高蓉等，2001；林进，2004）。作用机理研究表明，脱氧鬼臼毒素在 6.584 μg/头剂量下饲喂粘虫 4 龄幼虫，可明显抑制中肠淀粉酶和蛋白酶的活性，处理 48 h 后，酶活性抑制率分别为 39.88%和 47.08%；对菜青虫的体壁、中肠和精囊的结构均具有明显的破坏作用（林进，2004）。砂地柏粗提物对粘虫幼虫的中肠、后肠及马氏管均有破坏作用（付昌斌和张兴，1998）。

但本研究在拒食剂量下，未观察到对消化系统明显的影响，说明在不同剂量处理下，鬼臼毒素类物质对昆虫的作用方式和作用机理可能不同。大量研究表明，同一种植物源物质兼具多种作用方式，这种作用方式的差异与处理剂量有关或与供试虫种有关。如鳞翅目幼虫对印楝素最敏感，不同种类幼虫出现明显拒食效果的印楝素含量阈值为 1～50 mg/kg；鞘翅目、半翅目、同翅目、等翅目昆虫敏感程度较差，阈值为 100～600 mg/kg；抑制美洲脊胸长蝽和长红猎蝽（吸血蝽）生长发育的 ED_{50} 分别为 0.6 和 0.2 μg/g（Mordue and Blackwell，1993）。对于不同的作用方式，其相应的作用机理也不同，如印楝素的拒食作用主要在于其对抑食细胞的刺激，而对昆虫内分泌活动的扰乱是影响昆虫的生长发育的主要原因（李晓东和赵善欢，1996）。可见，对不同试虫或同种试虫，在剂量、作用方式及作用机理之间存在明显的相关性。因此，为进一步明确鬼臼类物质的杀虫作用，有必要系统研究鬼臼类物质的剂量、作用方式及作用机理之间的关系。

参 考 文 献（References）

Bauce E，Bidon Y，Berthiaume R，2002. Effects of food nutritive quality and *Bacillus thuringiensis* on feeding behaviour，food utilization and larval growth of spruce budworm *Choristoneura fumiferana*（Clem.）when exposed as fourth- and sixth-instar larvae. *Agric. For. Entomol.*，4：57－70.

Chen ZH，1987. Quantitative measurement and calculation of nutrient index in insects. *Entomological Knowledge*，24（5）：299－301.［陈志辉，1987. 昆虫营养指标的定量测量与计算. 昆虫知识，24（5）：299－301］

Deml R，Meise T，Dettner K，1999. Effects of *Bacillus thuringiensis* δ-endotoxins on food utilization，growth，and survival of selected phytophagous insects. *J. Appl. Entomol.*，123：55－64.

Fu CB，Zhang X，1998. Effects of the extracts of savin juniper，*Sabina vulgaris* Ant. on the intestinal tissue of *Mythimna separata* Walker. *Acta Univ. Agric. Boreali-Occidentalis*，26（3）：6－10.［付昌斌，张兴，1998. 砂地柏提取物对粘虫肠道组织的影响. 西北农业大学学报，26（3）：6－10］

Feng G，Li GZ，Feng JT，Zhang J，Liu X，Zhang X，2005. Application of Visual Basic 6.0 in calculating of toxicity assay data. *Acta Agriculturae Boreali-occidentalis Sinica*，14（2）：115－117.［冯岗，李广泽，冯俊涛，张静，刘霞，张兴，2005. Visual Basic 6.0 在农药毒力测定数据处理中的应用. 西北农业学报，14（2）：115－117］

Gao R，Tian X，Zhang X，2001. Study on insecticidal activities of 3 podophyllotoxin analogues. *J. Northwest Sci-Tech Univ. Agri. For.*（*Nat. Sci. Ed.*），29（1）：71－74.［高蓉，田暄，张兴，2001. 3 种鬼臼毒素类物质杀虫活性测试. 西北农林科技大学学报（自然科学版），29（1）：71－74］

Inamori Y，Kato Y，Kubo M，Baba K，Matsuyama Y，Sakai M，Kozawa M，1983. Mechanisms of insecticidal action of deoxypodophyllotoxin（anthricin）Ⅰ. Distribution of deoxypodophyllotoxin in tissues of the 5th instar larvae of silkworm. *Chem. Pharm. Bull.*，31（12）：4 464－4 468.

Inamori Y，Kato Y，Kubo M，Waku Y，Hayashiya K，Sakai M，Baba K，Kozama M，1984. Mechanisms of insecticidal action of deoxypodophyllotoxin（anthricin）Ⅱ. Histotopathological studies on tissues of silkworm larvae intoxicated by deoxypodophyllotoxin. *Chem. Pharm. Bull.*，32（5）：2 015－2 019.

Inamori Y，Kubo M，Tsujibo H，Oki S，Kodana Y，Ogawa K，1986. Mechanism of insecticidal action of deoxypodophyllotoxin（anthricin）. Ⅲ. The mode of delayed insecticidal action of deoxypodophyllotoxin. *Chem. Pharm. Bull.*，34（5）：2 247－2 250.

Li XD，Zhao SH，1996. The toxic effects and mode of azadirachitin on insects. *J. South China Agri. Univ.*，17（1）：118－122.［李晓东，赵善欢，1996. 印楝素对昆虫的毒理作用机制. 华南农业大学学报，17（1）：118－122.

Lin J，2004. Preliminary Study on the Insecticidal Mechanism of Deoxypodophyllotoxin. Master Dissertation，Northwest Sci-Tech University of Agriculture and Forestry.［林进，2004. 脱氧鬼臼毒素杀虫作用机理初步研究. 西北农林科技大学硕士学位论文］

Luo LZ，Xu HZ，Li GB，1995. Effects of rearing density on the food consumption and utilization of larval oriental armyworm *Mythimna separate*（Walker）. *Acta Entomol. Sin.*，38（4）：428－434.［罗礼智，徐海忠，李光博，1995. 粘虫幼虫密度对幼虫食物利用率的影响. 昆虫学报，38（4）：428－434］

Mordue AJ，Blackwell A，1993. Azadirachtin：An update. *J. Insect Phys.*，39：903－924.

Schoonhover LM，1982. Biological aspects of antifeedant. *Ent. Exp. Appl.*，31：57－59.

Yu XY，1997. Studies on Isolation and Bioactivities of Insecticidal Compounds from Berries of *Sabina vulgaris*. MSc Dissertation，Northwest Sci-Tech University of Agriculture and Forestry.［余向阳，1997. 砂地柏果实中杀虫活性成分的分离及生物活性研究. 西北农林科技大学硕士学位论文］

Zhang X，Zhao SH，1983. Repellant and antifeedant activities of Melia plants on several insects. *Journal of South China Agricultural University*，4（3）：1－7.［张兴，赵善欢，1983. 楝科植物对几种害虫的拒食和忌避作用. 华南农学院学报，4（3）：1－7］

Zhang X，Feng JT，Chen AL，Ma ZQ，2002. A brief review on insecticidal function of Savin juniper（*Sabina vulgaris*）. *J. Northwest Sci-Tech Univ. Agri. For.*（*Nat. Sci. Ed.*），30（4）：130－134.［张兴，冯俊涛，陈安良，马志卿，2002. 砂地柏杀虫作用研究概况. 西北农林科技大学学报（自然科学版），30（4）：130－134］

（责任编辑：黄玲巧）